

## H19/B04 微粒子プラズマ科学の展開(1節 共同プロジェクト研究の理念と概要, 第4章 共同プロジェクト研究)

雑誌名	東北大学電気通信研究所研究活動報告
巻	14
ページ	259-261
発行年	2008-08
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/40822">http://hdl.handle.net/10097/40822</a>

課題番号 H19/B04

採択回数 ① 2 3

## 微粒子プラズマ科学の展開

### [1] 組織

代表者：林 康明

(京都工芸繊維大学工芸科学研究科)

対応者：庭野 道夫

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

佐藤徳芳 (東北大学)

飯塚哲 (東北大学工学研究科)

石原修 (横浜国立大学工学研究院)

三重野哲 (静岡大学理学部)

富田幸博 (核融合科学研究所)

上村鉄雄 (名城大学理工学研究科)

濱口智 (大阪大学工学研究科)

高橋和生 (京都工芸繊維大学工芸科学研究科)

渡辺征夫 (九州大学)

白谷正治 (九州大学システム情報科学研究院)

足立聡 (宇宙航空研究開発機構)

依田真一 (宇宙航空研究開発機構)

高柳昌弘 (宇宙航空研究開発機構)

芦川直子 (核融合科学研究所)

真銅雅子 (横浜国立大学工学研究院)

小島力 (横浜国立大学工学研究院)

久保田潤平 (横浜国立大学工学研究院)

山野内敬 (宮城工業高等専門学校)

### [2] 研究経過

低温プラズマを利用した化学反応による、薄膜作製、超微細加工技術は、現在の先端産業を支える重要な技術となっている。今後もナノテクノロジーと関連して、超薄膜作製、ナノ粒子製造、極超微細加工など、その発展が大いに期待されているところである。ここで使われる反応性プラズマ中では一般には、中性粒子、電子、正イオンからなるが、作製の条件によって、大きな質量を持つクラスター、フラレン、ナノ結晶、あるいはミクロン微粒子が存在する。これらの微粒子には表面に大量の電子が付着し、プラズマ中であたかも巨大な負イオンのように振舞う。こうした微粒子を含むプラズマは、微粒子プラズマあるいはダストプラズマと呼ばれ、近年ますますその基礎的・応用的展開の重要性が叫ばれている。そこで本プロジェクトでは、ナノメータからミクロンサイズまでの特徴的構造を持つ微粒子プラズマの基礎的性質を系統的に解明することを目的として研究を行った。また、炭素系薄膜やシリコン系薄膜等のナノ微細構造制御や高機能化や、次世代極超微細電子デバイスの開拓に不可欠な微粒子プラズマの精密制御法を目指した研究を行うことも目的とした。さらには、相転移・臨界現象など物理基礎に関する諸課題を解明する手段として利用する可能性について検討することも目的とした。

具体的には、本プロジェクトでは、低温プラズマ中におけるナノ・ミクロン微粒子の生成、凝集、クラスター形成の基礎過程を解明する。その成果を、微粒子新材料や新しい合成技術の開発研究、およびプラズマ中での微粒子輸送制御技術の開発に生かす。また、ナノ微粒子やミクロン微粒子の発生が炭素系・シリコン系薄膜の膜質に与える影響を明らかにする。さらに、外部からプラズマ中に一定の形状・サイズを有する微粒子を投入し、内・外部電磁界による挙動を調べる。微粒子は分子に比べてきわめて大きな質量をもつため、プラズマ中での挙動における重力効果は無視できない。そこで、微小重力環境下での実験を実施し、微粒子やクラスター形成、および微粒子群の構造形成における重力効果を明らかにする。以上のように、共同研究者の討論を通じて

研究費：物件費 5万円，旅費6万3千4百円

微粒子プラズマの基礎物理を明らかにし、低温プラズマ利用による新しい反応性プラズマプロセス技術の開発と、微粒子プラズマの新規応用展開を目指した。

以下、2度の研究会を中心とした研究活動状況の概要を記す。

第1回目の研究会は、平成20年2月2日（土）東北大学工学部電気・情報系103会議室で行われた。はじめに、宇宙航空研究開発機構の支援の下で進めている「国際宇宙ステーション（ISS）を利用したドイツ、ロシアとの国際共同研究を、今後どのように展開していくべきか」について話し合われた。現在、PK-3 Plus プラズマ実験装置がISSのロシア側モジュール内に設置されているが、ドイツ・マックスプランク研究所の協力により同型機が京都工芸繊維大学にも設備されている。実験装置の概要について説明があり、実験パラメータをどのように設定すべきかについて、装置構造上の問題も含めて検討が行われた。また、PK-4の地上実験装置についても簡単な説明があり、PK-3 Plusの後継機として、どのような実験の可能性があるかについて話し合われた。さらに、PK-4とは別に進められているPlasma Lab計画についても紹介があり、日本のグループとしてどのように対応していくかについて検討が行われた。

次の議題は、「微粒子プラズマ研究の今後の展開」についてで、研究拠点を形成し大型予算を獲得して、日本における微粒子プラズマ研究を今後大きく発展していく計画について検討が行われた。予算の申請先として、科学研究補助金で来年度より新規に発足する新学術領域が候補として挙げられ、今後、募集案内を注意しながら準備を行っていくことになった。

最後の議題は、「微粒子プラズマの材料プロセスへの応用」についてで、講演の後、今後の計画について話し合われた。講演では、九州大学の白谷教授から、「ミー散乱によるシリコン微粒子の測定」と題して、ミー散乱法によるプラズマ中の微粒子計測に関するレビューと、新しく微小重力実験の提案がなされた。提案は、プラズマ中でナノサイズ微粒子の時間平均電荷が1素電荷以下となり互いのクーロン反発力により、ファンデルワールス力によるナノサイズ微粒子の凝集を防ぐことができるという内容であった。また、応用物理学会における新領域として提案予定の、月面を利用した“宇宙材料プロセッシング”について、静岡大学の三重野教授から簡単な説明があった。

第2回目は、平成20年3月8日（土）東北大学工学部電気・情報系103会議室で行われた。

はじめに、「微小重力環境下プラズマによる臨界現象観測実験」についての発表があった。発表では、京都工芸繊維大学の林教授からこれまでの経過と今後の目標について説明があった後、同じく京都工芸繊維大学の高橋准教授より、PK-3 Plus 同型装置を航空機に搭載して放物線飛行による微小重力実験を行った結果について発表があった。微小重力実験では、 $2.25\mu\text{m}$ と $3.38\mu\text{m}$ の微粒子を用いて放電パワーと圧力を変化させて実験が行われ、低パワー、低圧力で粒径の小さい微粒子を用いると広い領域に微粒子が配列するが、課題となっているボイドの消去は困難であることが報告された。

次に、プラズマ中での微粒子の挙動に関する二つの講演があった。一つは、東北大学の飯塚准教授からの「時間平均駆動力を使った微粒子制御法」と題する発表であった。プラズマ中に捕捉されている微粒子に、探針を対向しておき、100Hzほどの周波数で交互にパルス電圧を印加することで微粒子が平均的な電場の影響を受けた結果、対向した二探針の間に微粒子が移動し、ボイドのない微粒子群が形成されるという内容であった。二つ目は、横浜国立大学の学生である久保田氏からの発表で、題目は「シース中の微粒子挙動実験」であった。プラズマ中に単一の微粒子を投入すると、静電気力、重力、イオン粘性力の釣り合いにより、シース中で微粒子が振動しながら垂直方向の平衡位置に留まるが、その過程における振動数を求めて微粒子の帯電量を見積ったという内容であった。

### 〔3〕 成果

#### （3-1）研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、我国の微粒子プラズマ科学の研究に関わる研究者が集合して、今後どのように国際協力を進めていくかについて、次のとおり具体的な討論を行うことができた。現在、ドイツとロシアにおいて進められている国際宇宙ステーション内のPK-3 Plusを利用した微粒子プラズマの微小重力実験に関して、日本側から提案する臨界現象実験の目標とすべき方向性をより明確にすることができた。また、後継機となるPK-4や計画中のPlasma Labの利用に関して、提案実験、装置設計・製作、実施計画などについての議論を行うことができた。

第2に、次に挙げる微粒子プラズマの研究成果、実験提案について、突っ込んだ議論を行うことができた。プラズマ中の微粒子挙動に関する実験結果に関して、多くの時間を割いて詳しく議論することに

より、問題点や解決策が明らかになった。特に、ボイドのできない微粒子プラズマを形成するヒントを得られたことは意義がある。また、微粒子プラズマの新しい利用方法として、ファンデルワールス力による凝集の生じないナノ微粒子の作製方法の提案があったことは、意義深い。

### (3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトの成果は、すでに進めているドイツやロシアと国際共同研究をさらに促進していくことが期待される。また、本プロジェクトでの議論に基づき、来年度より新規発足が予定されている科学研究補助金の新学術領域に応募することが決まり、現在その準備中である。

### [4] 成果資料

(1) 林康明、高橋和生、東辻浩夫、石原修、濱口智、佐藤徳芳、渡辺征夫、足立聡、高柳昌弘：微小重力環境下微粒子プラズマ研究の展開、宇宙利用シンポジウム〔第24回〕日本学術会議、宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部、2008年1月17～18日、Space Utilization Research, Vol. 24 (2008) 印刷中。

(2) Y. Hayashi, K. Takahashi, H. Totsuji, O. Ishihara, S. Hamaguchi, N. Sato, Y. Watanabe, S. Adachi, and M. Takayanagi: Experiments of fine particle plasmas toward observation of critical phenomena, Proc. Third International Symposium on Physical Sciences in Space (3rd ISPS 2007), in press.

(3) O. Ishihara: Configuration of coulomb clusters in plasma 2, Phys. Plasmas 14(2007) 123706.

(4) O. Ishihara: Complex Plasma : Dusts in Plasma, Journal of Physics D: Appl. Phys. 40, R121-R147 (2007).

(5) Tetsuo Kamimura, Yuta Suga and O. Ishihara: Configurations of Coulomb Clusters in Plasma, Physics of Plasmas 14, 123706-1 - 123706-11(2007).

(6) Y. Nakamura and O. Ishihara: A Complex plasma device of large surface area, submitted to Review of Scientific Instruments 79, 033504-1-033504-4 (2008).

(7) C. Kojima, J. Kubota, Y. Tashima, and O. Ishihara: Dust Dynamics in Wake Channel, JASMA (The Japan Society of Microgravity Application) Vol. 24, No. 3 (2008).